

Recebido: 24-09-2019 Aceito: 10-03-2020 Publicado: 27-07-2020

Editorado por: André Luiz Missio

Caracterización anatómica y variabilidad de los componentes de la madera de *Calycophyllum spruceanum* (Benth). Hook.

Graciela Isabel Egoavil Cueva Gálvez^{1*}, Márcio Pereira da Rocha², Ricardo Jorge Klitzke², Hector Enrique Gonzales Mora¹

¹ universidad Nacional Agraria La Molina, Peru.

² Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

RESUMEN En el presente estudio se evaluó las características anatómicas, variación radial y longitudinal de los constituyentes anatómicos de *Calycophyllum spruceanum* (Benth). Hook., de una plantación procedente de la Amazonía peruana. Se utilizaron seis árboles, de ellos se colectaron 3 discos de cada árbol (base, DAP, ápice); de cada uno se consideró tres posiciones en dirección medula-corteza y tres posiciones en dirección base-ápice. Se describieron las características anatómicas de la fibra y elementos de vasos y radios. Se encontró que la longitud de fibra, espesor de pared, diámetro tangencial de poros y longitud de vasos aumentó de manera significativa hacia la corteza; mientras que la frecuencia de poros disminuyó. En sentido longitudinal, la longitud de fibras y longitud de vasos disminuyó de manera significativa hacia el ápice; la frecuencia de poros aumentó hacia él; la pared de fibras y diámetro tangencial de poros no evidenciaron cambios significativos de la base hacia el ápice.

Palabras-clave: Estructura anatómica; fibras; vasos; variabilidad.

Anatomical characterization and variation of components of *Calycophyllum spruceanum* (Benth). Hook. wood

ABSTRACT In the present study the anatomical characteristics, radial and longitudinal variation of the anatomical constituents of *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook., Of a plantation from the Peruvian Amazon were evaluated. Six trees were used, 3 discs of each tree (base, DAP, apex) were collected; from each one, three positions in the medulla-cortex direction and three positions in the base-apex direction were considered. The anatomical characteristics of the fiber and vessel elements and spokes were described. It was found that fiber length, wall thickness, tangential pore diameter and vessel length increased significantly towards the cortex; while the frequency of pores decreased. In the longitudinal direction, the fiber length and vessel length decreased significantly towards the apex; the frequency of pores increased towards him; The fiber wall and tangential pore diameter showed no significant changes from the base to the apex.

Keywords: anatomical structure; fibers; vessels; variability.

Introducción

La madera es un material muy usado como materia prima por su gran versatilidad, que la hace muy atractiva para la elaboración de gran cantidad de productos mediante fabricaciones simples o con mayor grado de complejidad científica y técnica.

Sin embargo, es un material heterogéneo, anisotrópico, compuesto por diferentes tipos de células con funciones vitales para el desarrollo y crecimiento del árbol; sus propiedades están sujetas a variaciones provocadas por la fisiología de los árboles y factores externos como clima, suelo, competencia entre individuos, técnicas silviculturales y edad,

*Autor correspondiente: gegoavil@lamolina.edu.pe

haciendo que sus características puedan variar en diferentes partes del mismo árbol, o de un árbol a otro (PASHING; DE ZEEUW, 1980). Considerado de gran importancia en su comportamiento, la variabilidad de sus características anatómicas y el efecto que está pueda tener sobre las propiedades físico-mecánicas, procesamiento y utilización (LEON, 2010).

En muchas especies estudiadas, se ha encontrado mayor variación dentro de un mismo árbol que entre árboles de la misma especie desarrolladas en condiciones similares, estas se presentan entre anillos de crecimiento y en las direcciones radial y longitudinal (VÁSQUEZ et al., 2009). Toro (2010), investigando a otros autores, señala que la variación radial y longitudinal dentro del árbol está asociada con la presencia del leño juvenil y su proporción del leño maduro. En el tronco del árbol se identifica una región central de madera llamada juvenil, asociada con la actividad del cambium vascular, durante ese período sus características anatómicas, físicas y mecánicas son más variables que en la madera madura, la parte más externa es más estable y homogénea, con propiedades relativamente constantes frente a la madera juvenil, cuyas propiedades cambian rápidamente en dirección centrífuga (MEDINA et al., 2013)

La *Calycophyllum spruceanum* (Benth), perteneciente a la familia Rubiaceae, es considerada una especie pionera en sucesiones de bosques aluviales del Perú, Brasil, Ecuador y Colombia. Se encuentra en toda la Amazonía peruana, hasta 1000 m.s.n.m.; es heliófita de rápido crecimiento, su madera es de color marrón crema. Sus árboles se encuentran como el bosque clímax, también en bosques secundarios, pioneros o tardíos, con tipos de suelos limosos a arcillosos, aluviales y fértiles (USHIÑAHUA, 2016). En el Perú, conocida como Capirona, es considerada como una especie promisoría y con gran potencial por tener una respuesta eficiente en instalación de plantaciones con fines industriales (ORREGO et al., 2017).

A nivel nacional e internacional, el *Calycophyllum spruceanum* tiene una demanda creciente, por sus características tecnológicas y bajo costo, ubicándola en los últimos años, en producción de madera aserrada entre las diez primeras especies comerciales, con usos muy diversos, tales como madera estructural para la construcción, machihembrado para revestimiento, pisos, muebles y artículos deportivos (ORREGO et al., 2017).

Sin embargo, existen pocos estudios anatómicos relacionados con la madera de *Calycophyllum spruceanum*, algunas provenientes en bosques naturales del Perú, como los de Aróstegui (1974); Acevedo; Kikata (1994); en Brasil, De Andrade et al. (2017), en árboles de seis años de edad, proveniente de una plantación experimental de Embrapa; Baldin et al. (2016), de muestras provenientes de tres instituciones dedicadas a la investigación de la madera, en Londres, Sao Paulo y Alemania.

Debido a la importancia del *Calycophyllum spruceanum*, como especie forestal promisoría por su gran potencial en plantaciones, y los pocos estudios anatómicos y de variabilidad que se han realizado en ella, el objetivo de la presente investigación fue conocer las características anatómicas y la variación que presenta en su sección radial y longitudinal en tres niveles de altura, en árboles provenientes de una plantación de 20 años establecida en Curimaná (Pucallpa-Perú). La hipótesis se basó en conocer la variabilidad de en las dimensiones celulares a lo largo del eje longitudinal, radial e interacciones, de la madera estudiada.

Materiales y Métodos

Datos generales de la Investigación

La madera en estudio corresponde a seis árboles de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook de 20 años, proveniente de una plantación de 10 ha, con espaciamiento

de 3 x 5 m, ubicada en el sector Cambio 90, distrito de Curimaná, provincia Padre Abad, departamento Ucayali-Perú, bajo las coordenadas 483060 m-E y 9067700.5 m-N (Figura 1).

Para la selección de los árboles se tomó en cuenta el diámetro y que presenten buen estado fitosanitario. Los datos dendrométricos de altura total del fuste (ht), diámetro a la altura del pecho (dap) y volumen del fuste con corteza (Vcc), medidos antes de la extracción de las muestras se presentan en la (Tabla 1).

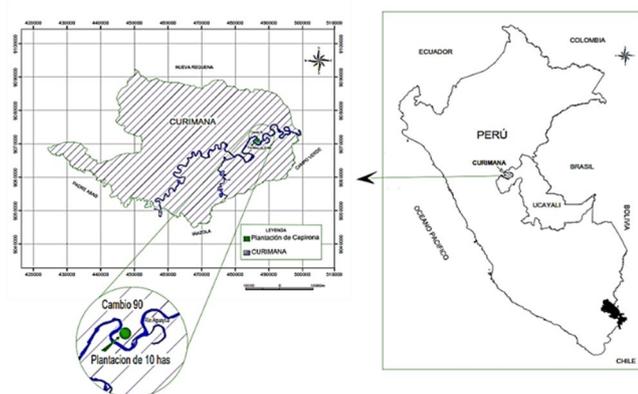


Figura 1. Localización geográfica, departamento de Ucayali, distrito de Curimaná de la plantación de *Calycophyllum spruceanum*.

Figure 1. Geographic location, Geographical location, department of Ucayali, Curimaná district of the plantation of *Calycophyllum spruceanum*.

Tabla 1. Datos dendrométricos de los árboles seleccionados de *Calycophyllum spruceanum*

Table 1. Dendrometric data of the selected trees of *Calycophyllum spruceanum*

N° Árbol	ht (m)	dap (cm)	vcc (cm ³)
1	21,5	23,5	0,91
2	16,2	23,9	0,98
3	25,9	26,5	1,30
4	24,1	29,3	1,85
5	21,2	25,9	1,16
6	19,6	23,8	0,70

ht: altura total del fuste; dap: diámetro a la altura del pecho; vcc: volumen del fuste con corteza.

Procesamiento de las trozas

Para las muestras de xiloteca se retiraron tres discos de 5 cm de espesor por árbol, estableciendo tres niveles en sentido longitudinal: base (B), diámetro a la altura del pecho (dap) y ápice (A), totalizando 18 discos en los seis árboles seleccionados (Figura 2). De cada disco se extrajo un bloque de 50 mm de ancho x 80 mm de espesor y largo variable en función al radio del disco; de cada bloque se obtuvieron seis cubos de 10 x 10 x 10 mm, debidamente orientados en sus tres planos de corte (transversal, radial y tangencial); región próxima a la médula (PM), región intermedia (IM) y región próxima a la corteza (PC), considerando tres niveles en sentido longitudinal y tres niveles en sentido transversal; se prepararon 18 cubos por árbol, con un total de 108 cubos en los seis árboles seleccionados. Se utilizaron nueve cubos para la preparación de láminas histológicas y nueve cubos para la preparación de láminas con fibras y vasos. (Figura 2). Para la caracterización organoléptica y macroscópica, se extrajo una troza de la base del árbol de 0,5 m de largo, a partir del cual se obtuvieron tablas de madera debidamente orientada en cortes tangencial, radial y transversal.

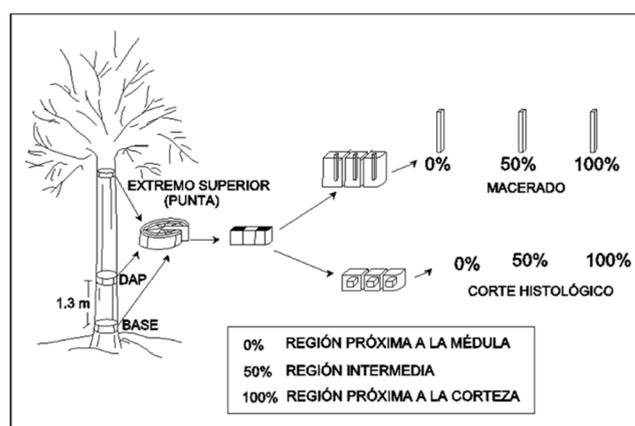


Figura 2. Discos a tres niveles de altura de los árboles seleccionados para la preparación de muestras histológicas y muestras de fibras y vasos mediante macerado.

Figure 2. Three-level discs of the trees selected for the preparation of histological samples and samples of fibers and vessels by maceration.

Los estudios anatómicos se realizaron en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina, según la Norma de procedimientos en estudios de anatomía de la Madera, IBAMA (1991).

Características organolépticas y macroscópicas

A partir de la troza de 0,5 m se obtuvieron probetas de 20 mm x 100 mm x 150 mm, debidamente orientadas en cortes transversal, radial y tangencial. Se evaluaron: color de la madera, aplicando la tabla de color Munsell para tejidos vegetales (1977); olor y sabor mediante sentido del gusto y olfato; brillo haciendo incidir una fuente de luz sobre la superficie de la madera; textura según el tamaño de poros; visibilidad de anillos de crecimiento; poros; veteado; parénquima y radios.

Características microscópicas

De muestras de madera en forma de cubos se destinaron a la preparación de láminas histológicas pasaron por un proceso de ablandamiento, por ebullición de hidróxido de sodio (NaOH 3%), durante dos horas. De cada cubo se obtuvieron láminas de 20-25 μm en sus tres secciones, transversal, radial y tangencial, utilizando un micrótopo de deslizamiento horizontal. Cada lámina fue sometida a un proceso de deshidratación con alcohol de 30°, 60° y 90°; coloración con safranina; lavado con alcohol 96°; fijación con xilol y montaje, en el siguiente orden: transversal, radial y tangencial, finalmente se agregó una gota de *Merkoglas*, pegamento de secado instantáneo, entre lamina portaobjeto y cubreobjeto. Considerando nueve posiciones, correspondientes a tres niveles en sentido longitudinal y tres niveles en sentido radial, se obtuvieron nueve láminas histológicas por árbol y 54 láminas de los seis árboles seleccionados.

Otro grupo de madera utilizado para la obtención de fibras y vasos pasaron por un proceso de maceración, con ácido nítrico (HNO_3 33%), calentado a 80 °C por 15 a 20 minutos; lavado; fijación de fibras y vasos con alcohol 96°; coloración con safranina; reposo por aproximadamente 20 horas; fijación con xilol y montaje. Finalmente se agregó una gota de merkoglas entre lámina porta objeto y cubre objeto. Considerando nueve posiciones, correspondientes a tres niveles en dirección longitudinal y tres niveles en dirección radial, se obtuvieron nueve láminas con fibras y vasos por árbol y 54 láminas de los seis árboles seleccionados.

Se tomaron 25 mediciones por posición para cada elemento anatómico con ayuda del programa LAZ Leica Application, registradas en una hoja Excel, que incluye datos de diámetro tangencial de poros, número de poros por mm^2 , altura de radios, ancho de radios, número de células en altura y ancho de radios, longitud de vasos, número de radios por mm lineal, diámetro total, lumen, espesor de pared y longitud de fibras.

Diseño experimental

Los parámetros estadísticos se determinaron de acuerdo a la norma COPANT N° 30:012 (1972): Promedio, desviación estándar, coeficiente de variabilidad y los límites superior e inferior para los diferentes elementos anatómicos.

El análisis estadístico se realizó en base a dos variables o factores que corresponde a la posición longitudinal (L) y posición radial (R), cada uno con tres niveles por variable. Para la posición longitudinal, se consideró: base (B), diámetro altura del pecho (dap) y ápice (A). Para la posición radial se consideró: región próxima a la médula (PM), región intermedia (IM) y región próxima a la corteza (PC). Se utilizó el diseño estadístico completamente al azar con arreglo con factorial 2^3 .

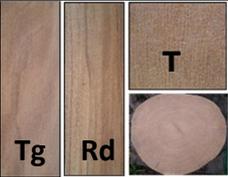
Resultados y Discusión

Descripción general de las características organolépticas y macroscópicas

En la Tabla 2, se muestran las características organolépticas y macroscópicas, corte tangencial, radial, transversal y anillos de crecimiento de *Calycophyllum spruceanum*. No se aprecia diferencia entre el duramen y albura, con presencia de anillos poco diferenciados, duramen y albura presentan un color amarillo claro: 2,5Y 8/4 según la tabla Munsell de tejidos vegetales (1977); vista con lupa 10X de aumento, se observa presencia de porosidad difusa con arreglo radial, solitarios y en concentración constante, con ausencia de parénquima y con radios visibles.

Tabla 2. Características organolépticas y macroscópicas de *Calycophyllum spruceanum* de 20 años.

Table 2. Organoleptic and Macroscopic characteristics of 20-year-old *Calycophyllum spruceanum*.

Característica	Descripción	Cortes típicos
Color: Duramen y albura	Amarillo claro	
Olor	No definido	
Sabor	No distintivo	
Grano	Recto	
Textura	Fina	
Brillo	Ausente	
Veteado	Ligeramente visibles	
Poros (10 x aumento)	Difusa	
Parénquima (10 x)	No visible	
Radios (10 x)	Visible	

Donde: Tg: tangencial; Rd: radial; T: Transversal

Estas características propias de la *Calycophyllum spruceanum* le dan a la especie una gran aptitud de uso debido a su grano recto y textura fina con excelente apariencia para fabricación en productos de ebanistería (puertas, muebles

ventanas, marcos) (CUELLAR, 2016), con buenas posibilidades de ser introducida en mercados Europeos y Japones que demandan maderas de color marrón claro, o fácilmente teñibles. En Perú, es la tercera especie en importancia en producción destinadas a la fabricación de parquet (SERFOR, 2017).

Características microscópicas cualitativas

Los vasos presentan porosidad difusa, de sección transversal redondeado con tendencia oval, con diámetro tangencial pequeño (67,9 μm), con arreglo predominantemente radial, vasos en agrupación solitarios, algunos en múltiplo de dos (Figura 3 A y B). Presenta una frecuencia media de 28 vasos mm^{-2} . Elementos vasculares de 560, 1 μm de largo promedio, con placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares pequeñas, de forma poligonal, con disposición alterna, con apertura de forma lenticular y disposición incluida.

Además, la madera posee elementos vasculares con presencia de apéndices en sus extremidades (Figura 4A), no se observa presencia de tilosis. Parénquima axial, ausente. Fibras: libriformes, (Figura 4C) septadas, con disposición estratificadas, de longitud media (1626 μm), de paredes delgadas a espesas (3,9 μm) punteaduras notoriamente areoladas (Figura 4D). Radios: visibles a simple vista en el plano transversal, presentes en número promedio de 9 radios por mm^{-1} , radios heterogéneos y multiseriados tipo II, no estratificados (Figura 3E y F), compuesto por células procumbentes de dos a cuatro líneas, marginales de células erectas y cuadradas (Figura 3C y D). Delgados (34,4 μm), longitudinalmente fusionados.

La especie *Calycophyllum spruceanum* presenta características anatómicas generales similares a lo obtenido por De Andrade et al. (2017), Baldin; Marchiori (2015), Acevedo; Kikata (1994), quienes también lo describen con

vasos de porosidad difusa, solitarios y múltiples radiales, parénquima axial ausente, vasos con presencia de apéndices en sus extremidades; fibras libriformes, cortas, con paredes delgadas a espesas; radios heterogéneos, presencia de células procumbentes, erectas y cuadradas.

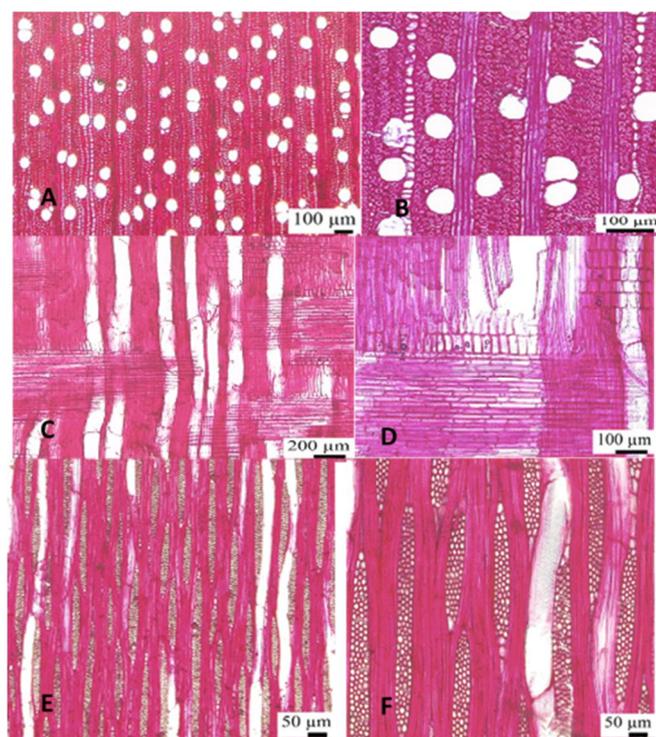


Figura 3. Fotomicrografías del leño de *Calycophyllum spruceanum* de 20 años de edad. (A) Sección Transversal con poros solitarios, algunos múltiples radiales; (B) La misma sección con mayor aumento, evidenciando poros de forma ovalada; (C) Sección radial indicando radios heterocelulares con células procumbentes en el centro y erectas en el extremo; (D) Sección con mayor aumento, destacando las células procumbentes, erectas y tipo lajas; (E) Sección tangencial con radios heterogéneos multiseriados y tipo II; (F) Sección de mayor aumento, se observa las punteaduras areoladas del vaso dispuestos de forma alterna.

Figure 3. Photomicrographs of the 20-year-old log of *Calycophyllum spruceanum*. (A) Transverse section with solitary pores, some radial multiple; (B) The same section with greater increase, evidencing oval shaped pores; (C) Radial section indicating heterocellular rays with procumbent cells in the center and erect at the end; (D) Section with greater increase, highlighting the procumbent, erect and louver cells; (E) Tangential section with heterogeneous multiseriate and type II rays; (F) Section of higher magnification, the arched pits of the glass arranged alternately.

Así mismo, Baldin et al. (2016), observaron las características anatómicas de 41 especies de la familia Rubiaceae, proveniente de Brasil y Venezuela, entre ellas, *C. spruceanum*, encontraron que los caracteres anatómicos cuantitativos que mejor discriminan a las especies se refieren a la longitud de fibras, altura de radios y longitud de elemento vascular. León (2011), también estudio 31 especies venezolanas de la familia Rubiaceae, observando que la característica con mayor uniformidad entre las especies estudiadas fue la composición de los radios, siempre con una combinación de radios homocelulares de células cuadradas o erectas y heterocelulares, generalmente con más de cuatro hileras de células marginales; datos de ambos investigadores que concuerdan con los resultados obtenidos en la presente investigación respecto a *Calycophyllum spruceanum*.

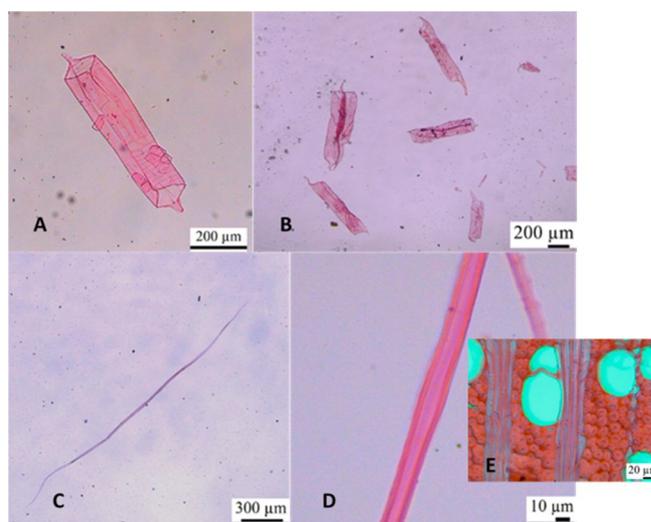


Figura 4. (A) Vasos con apéndices en los extremos; (B) Mayor cantidad de vasos con similares características de la imagen anterior; (C) Fibras libriformes; (D) Mayor aumento de la fibra donde se observa el espesor de pared; (E) Se observa que las fibras poseen pared celular gruesas y lumen pequeño.

Figure 4. (A) Vessels with appendages at the ends, (B) Larger number of vessels with similar characteristics of the previous image; (C) Freeing fibers; (D) Higher increase in fiber where the wall thickness is observed; (E) The fibers are observed to have heavy cell walls and small light.

Características microscópicas cuantitativas

La madera del *Calycophyllum spruceanum* está constituida mayoritariamente por fibras, ocupando el 64,1% del volumen de la madera, vasos (13%) y radios (22,5%). En la Tabla 3, se presenta los valores promedios de los elementos leñosos para la especie en estudio.

Las fibras presentan una longitud promedio de 1626 μm , clasificadas como fibras de longitud media, según IAWA (1989); en estudios de la misma especie, De Andrade et al. (2017) reportan, en una plantación de seis años en el municipio de Rio Branco, una longitud promedio de fibra de 1349 μm . Baldin et al. (2015), de muestras recibidas por tres instituciones de Londres, Sao Paulo y Alemania, reportan una longitud promedio de fibra de 1441 μm , sin información de la edad, ambos con valores menores a la presente investigación. Acevedo; Kikata (1994), encontraron en *Calycophyllum spruceanum* proveniente de bosques naturales de la Amazonía Peruana, valores de longitud de fibra entre 1306 a 2150 μm , con un valor promedio de 1728 μm , mayor a lo reportado en la presente investigación. Esta diferencia de longitud de fibra está directamente relacionada con la edad del árbol, tal es el caso del menor valor en una plantación de 6 años (DE ANDRADE et al. 2017) y mayor valor de un bosque natural (ACEVEDO; KIKATA, 1994). Al respecto, Baldin, et al (2016), encontraron que entre las 41 especies de Rubiaceae investigadas, la variación en longitud de fibras está altamente correlacionada con la edad del árbol; por otro lado, Bisset; Dadswell (1950), señalan que la estabilización de la longitud de las fibras sólo ocurrirá cuando las células del cambium alcancen la longitud máxima, iniciando la formación de la madera caracterizada como adulta.

El espesor de pared promedio de las fibras fue de 3,9 μm , menor a lo reportado por De Andrade et al. (2017), Baldin et al. (2016) y Acevedo; Kikata (1994), quienes reportaron

valores de 5,81 μm , 7,0 μm y 6,0 μm respectivamente. El menor valor de espesor de la especie investigada respecto a lo obtenido por Andrade et al (2017), es probable que se deba a factores genéticos, ambientales, técnicas silviculturales entre otros, al respecto, la plantación investigada por Andrade et al (2017) pertenece a una madera experimental bajo ciertos criterios de manejo, y la madera del presente estudio proviene de una plantación sin ningún tipo de tratamiento silvicultural. Winck et al. (2015) en una plantación de *Pinus taeda*, encontraron que al aplicar un raleo del 50% de la densidad original de la plantación, favoreció la obtención de madera con mayor espesor de pared celular. Respecto a la especie de bosques naturales, de mayor edad y mayor proporción de madera madura, es de esperar un mayor espesor de fibra que la especie en investigación. El diámetro promedio del lumen de fibras fue de 9,5 μm .

Tanto Baldin et al. (2016) y Acevedo; Kikata (1994), obtuvieron un diámetro promedio de 10 μm , muy cercanos a la presente investigación.

El diámetro tangencial del poro presentó un valor de 67,9 μm . De Andrade et al. (2017), Baldin et al. (2016) y Acevedo; Kikata (1994), obtuvieron valores promedio de 62,35 μm , 83 μm y 92 μm , todos clasificados en el rango de poros pequeños (IAWA, 1989). Asimismo, presentó una frecuencia de poros. m^{-2} de 28, clasificado como poros moderadamente numerosos (IAWA, 1989), que fue menor a lo señalado por De Andrade et al. (2017) $\text{N}^{\circ}\text{mm}^{-2}$ de 42,6 y Baldin, et al. (2015) $\text{N}^{\circ}\text{mm}^{-2}$ de 98, clasificados en el rango de poros números (IAWA, 1989); y mayor a lo reportado por Acevedo; Kikata (1994), $\text{N}^{\circ}\text{mm}^{-2}$ de 19, clasificados en el rango de pocos poros, (IAWA, 1989). Presenta una longitud de vasos de 560,1 μm , valor menor a lo señalado por Baldin, et.al. (2015) de 589 μm , ambos clasificados en el rango de vasos medianos (IAWA, 1989). Acevedo; Kikata (1994), de 902,5 μm clasificado como vasos largos (IAWA, 1989).

Tabla 3. Valores promedios de los elementos leñosos.**Table 3.** Average values of the woody elements.

Elemento	Medición	Media	•	E.E	CV	Min	Max
Fibras	Longitud (μm)	1626	245	33,3	15,1	1224,6	2090,4
	Diámetro total (μm)	17,4	1,2	0,17	7,14	15,4	20,20
	Espesor de pared (μm)	3,9	0,34	0,05	9,1	3,4	5,1
	Diámetro lumen (μm)	9,5	1,4	0,20	14,5	7,1	12,2
Poros	Diámetro (μm)	67,9	9,6	1,3	14,2	51,6	90,9
	N° mm^{-2}	28	2,6	0,35	9,4	22,0	31,9
Radios	Altura (μm)	554,0	124,0	17,0	22,5	398,5	820,0
	Ancho (μm)	34,4	4,9	0,68	14,5	23,5	46,4
	N° células en altura	32,7	4,8	0,65	14,6	24,9	46,9
	N° células en ancho	3,4	0,27	0,04	7,9	3,0	4,0
	N°/mm lineal	9,3	0,89	0,12	9,6	7,8	11,3
Vasos	Longitud (μm)	560,1	66,4	9,0	11,9	434,7	677,9

•.: Desviación estándar; EE: error estándar de la media; CV: coeficiente de variación.

Por otro lado, valores por encima de 100 vasos. mm^{-2} dan capacidad de xeromorfia, mientras que las bajas frecuencias generalmente ocurren en las especies de la selva tropical (CARLQUIST, 2001). La madera de *Calycophyllum spruceanum* de la presente investigación y las de comparación, están por debajo de los señalado por Carlquist (2001), las variaciones que presentan entre ellas, probablemente se deba a condiciones ambientales como clima, factor genético o tipo de leño. La madera de *Calycophyllum spruceanum*, investigada y De Andrade et al (2017) provienen de plantaciones de 20 y 6 años respectivamente, es probable que en diferentes proporciones ambas presenten madera juvenil; sin embargo, la especie señalados por Acevedo; Kikata (1994), provenientes de bosques naturales, presentaron mayor proporción de madera madura.

Variabilidad de las dimensiones anatómicas en sentido longitudinal y radial

En la posición longitudinal, se verificó diferencias estadísticas significativas en longitud de fibra, longitud de vasos y frecuencia de poros; sin embargo, en el diámetro

tangencial de poro y espesor de pared no se evidenciaron diferencias estadísticas significativas. En la posición radial, la longitud de fibra, espesor de pared de fibras, longitud de vasos, diámetro tangencial de poro y frecuencia de poros, presentaron diferencias estadísticas significativas. En este estudio, no se encontró diferencias estadísticas significativas en las interacciones entre la posición longitudinal y radial, indicando que no existe dependencia entre estos dos factores analizados (Tabla 5).

Variabilidad para la posición longitudinal

La longitud de fibra de la base y dap no mostraron diferencia estadística significativa entre ellos, pero si, aunque con valores decrecientes respecto al ápice, registrándose una tendencia a disminuir de 20,8 % en el sentido señalado, (Figura 5A). El espesor de la fibra de la base, dap y ápice no mostraron diferencia estadística significativa entre sus medias, con tendencia a disminuir hacia el ápice con un valor de 3,9 % (Figura 5B).

Tabla 5. Resumen del análisis de variancia factorial efectuada para el largo de fibras (LF), espesor de pared de fibras (EPF), largo de vasos (LV), diámetro tangencial de poro (DTP), frecuencia de Poros (FP) de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) de 20 años.
Table 5. Summary of analysis of factorial variance for fiber length (LF), fiber wall thickness (EPF), vessel length (LV), tangential pore diameter (DTP), pore frequency (FP) of a 20 years old *Calycophyllum spruceanum* (Benth).

Causa de variación	Cuadrado Medio					
	GL	LF (µm)	EPF (µm)	LV (µm)	DTP (µm)	FP(n°mm ⁻²)
Modelo	8	236747	0.3131	16386.2	131.37	24.251
P. Longitudinal (PL)	2	679365*	0.07709 ^{ns}	48522.3*	42.95 ^{ns}	41.396*
P. Radial (PR)	2	233355*	1.0636*	15881.0*	374.29*	51.221*
PL x PR	4	17134 ^{ns}	005749 ^{ns}	570.7 ^{ns}	54.11 ^{ns}	2.193 ^{ns}
Error	45	28606	0.9525	2276.2	85.5	3.777
Media		1626	3.9	560.1	67.9	28
CVexp (%)		15.1	9.1	11.9	14.2	9.4

* Significativo a 5% (0,01• p < 0,05) de probabilidad; ns: no significativo; CVexp: coeficiente de variación experimental.

Según lo observado, la longitud de fibra fue mayor en la base y conforme avanza hacia el ápice va disminuyendo significativamente, sin embargo, el espesor de pared se mantiene a lo largo del fuste. rula relación que tiene el espesor de pared con la densidad de la madera, y esta a su vez relacionada a la resistencia de la madera, nos estaría indicando que *Calycophyllum spruceanum*, mantiene su calidad en todo el fuste del árbol.

El comportamiento de la longitud de fibra del presente estudio es similar a otras especies forestales, quienes señalan que las variaciones verticales de la longitud de la fibra dentro del árbol siguen algunas tendencias bien conocidas. Una de ellas es que aumenta con la altura hasta un nivel máximo algunos metros por encima de la base, y luego disminuye hacia la parte superior (EZQUERRA; GIL, 2001). La especie *Cordia quebracho-blanco* también presentó una disminución de la longitud de las fibras en diferentes niveles de altura del tallo (GIMÉNEZ; LÓPEZ, 2002). Bhat et al. (1989), estudiando once especies, encontraron que el tallo principal y ramas presentan tendencia a disminuir la longitud de sus fibras con el nivel de altura; Rocha (2004), encontró en *Eucalyptus grandis* de 7 años, en sentido base-ápice, que las dimensiones de las fibras son mayores entre 0 y 25% de altura comercial y menores entre 75 y 100 % de altura comercial. Sin embargo, esta disminución es contrario a lo reportado por

León (2010) estudiando *Swietenia macrophylla* de una plantación de 10 años.

El diámetro tangencial de poros de la base, dap y ápice no mostraron entre ellos, diferencia estadística significativa, con tendencia a disminuir en 3,8 % desde la base hacia el ápice (Figura 5C). Este comportamiento, es similar a lo reportado por Rulliaty; America (1995) citados por León (2010) para la especie *Swietenia. macrophylla* y Giménez; López (2002) para la especie *Schipnosis quebracho blanco*, sin embargo, difiere de *Cordia thaisiana* que presentó un aumento de diámetro de poros hasta 3 - 6 m de altura (LEON; ESPINOSA DE PERNIA, 1998).

No se encontró diferencia significativa de la longitud de elementos vasculares de la base hacia dap, pero si valores decrecientes significativos del dap hacia el ápice, registrándose una disminución del 15,4 % hacia el ápice. (Figura 5D). Para *Swietenia macrophylla* de tres edades con madera de una plantación en Indonesia, se encontró que la longitud de los elementos vasculares también tiende a disminuir con la madera de nivel de altura del tallo (RULLIATY y AMERICA, 1995, citados por LEÓN, 2010); en *Cordia. thaisiana*; sin embargo, tiende a mantenerse constante hasta 12-15 m de altura para luego experimentar ligeras reducciones (LEÓN; ESPINOZA DE PERNIA, 1998).

La frecuencia de poros de la base mostró diferencia estadística significativa inversa, respecto al dap, sin embargo, del dap hacia el ápice no se encontró diferencia significativa, registrando una tendencia aumentar hacia el ápice de 3,4 %.

A nivel mundial se han encontrado muchos trabajos sobre la variación de la longitud de fibras y vasos en varias especies y diferentes edades de dicotiledóneas arbóreas, en donde disminuyen desde la base al ápice del árbol (MEDINA et al., 2013). En general, las dimensiones de las fibras sufren variación en dirección longitudinal (base-ápice) y radial (médula-corteza) del tronco del árbol (MIRANDA et al.,

2012). León; Espinoza de Pernía (1998) e Igartúa; Monteoliva (2010), encontraron que la mayor fuente de variación de la morfología de las fibras se presenta dentro del árbol, relacionada con las diferentes edades formativas de la madera. Al respecto, según los resultados del estudio y experiencias de otras investigaciones, se puede señalar que, en sentido longitudinal, se ha encontrado una disminución de la longitud de fibras y elementos de vaso desde la base al ápice del árbol, cuya variación está relacionada mayormente a la edad juvenil y madura de la madera.

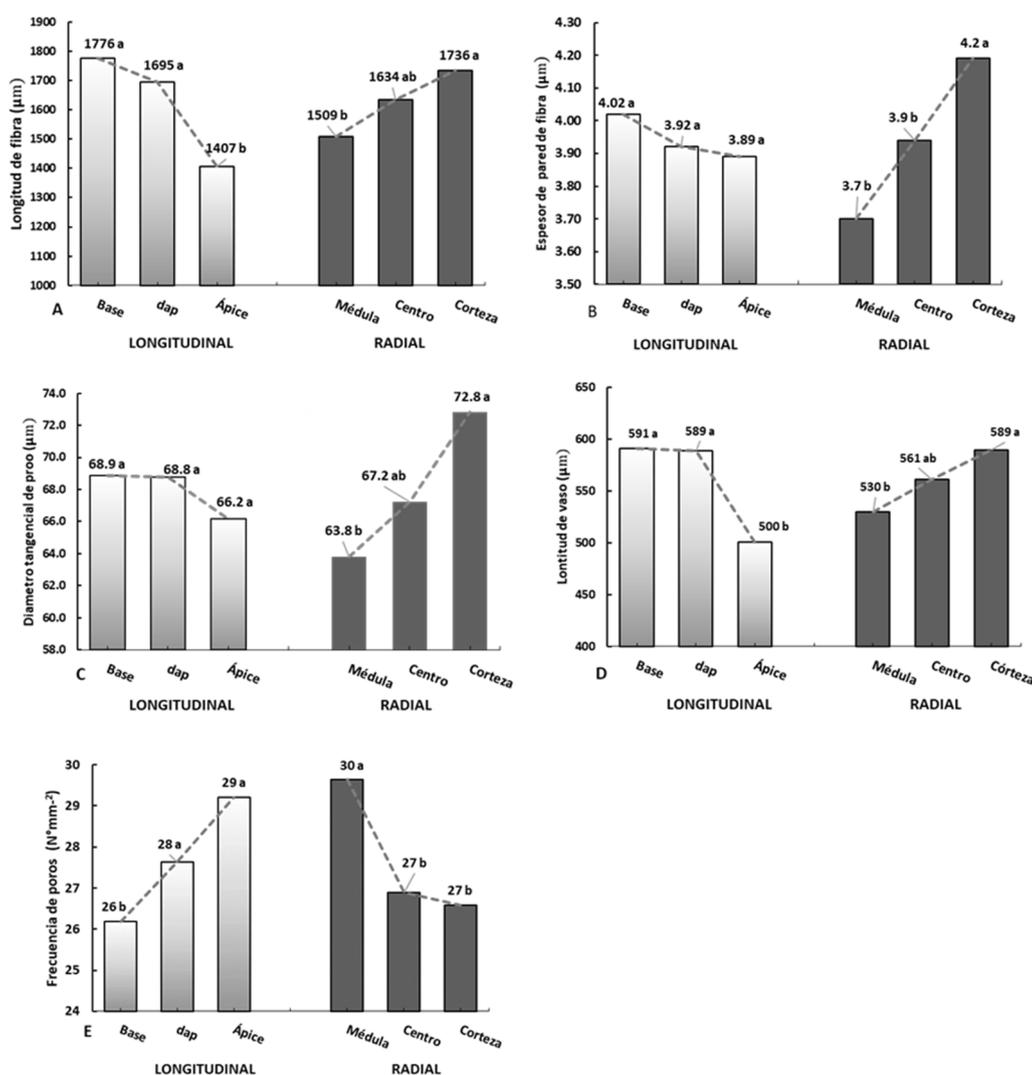


Figura 5. Valores medios de las características anatómicas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth). Donde, dap : diámetro altura de pecho. Las medias seguidas por la misma letra en la columna no difieren entre sí, por el Test de Tukey al 5% de significancia

Figure 5. Average values of the anatomical characteristics of *Calycophyllum spruceanum* (Benth). Where, dap: diameter chest height. The means followed by the same letter in the column do not differ from each other, by Tukey's Test at 5% significance.

Variabilidad para la posición radial

Se verificó que la longitud de fibra aumenta significativamente de médula a la corteza, observándose que, en la región intermedia, los valores de sus medias guardan similitud a los valores de la región próxima a la médula y corteza. Se registró un aumento de 13,1 % hacia la corteza. (Figura 5A). El espesor de fibra, de la región cerca a la médula y región intermedia, mostraron una diferencia significativa inferior, respecto al espesor de fibra de la región cerca a la corteza, con tendencia a aumentar conforme avanza hacia la corteza en 11,9 % (Figura 5B). Lima et al. (2011) en la madera de *Tectona grandis*; Tomazello Filho (1985), en *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus grandis*, encontraron que el largo de fibra y espesor de la pared celular aumentan significativamente en sentido médula-corteza. Bhat et al. (1989) sobre 11 especies latifoliadas tropicales, determinaron un patrón de variación radial más o menos general para todas, en donde la longitud de las fibras se incrementaba desde la médula hacia las adyacencias de la corteza; como lo encontrado en la presente investigación.

El diámetro tangencial de poro y la longitud de vaso de la región cerca a la médula mostraron una diferencia significativa inferior, respecto a la región cercana a la corteza; sin embargo, en la región intermedia, mostraron valores muy cercanos a la región cercana a la médula y corteza, con tendencia a aumentar conforme avanza hacia la corteza en 12,4% y 10%, respectivamente (Figura 5C y Figura 5D). En la frecuencia de poros fueron verificadas diferencias significativas, presentando mayor valor en la región de la médula, y una caída en la región intermedia y cerca a la corteza, estas dos últimas, sin embargo, no presentaron diferencias significativas; la disminución registrada fue del 10% hacia la corteza (Figura 5C).

Las diferencias de los elementos vasculares, que responden a la necesidad de agua para garantizar la

supervivencia, crecimiento, realizar sus actividades metabólicas y desarrollo del árbol, generan dimensiones variables según la ubicación en sentido radial, haciendo que el diámetro de los vasos cercanos a la corteza sea mayor. Por otro lado, de acuerdo a los valores medios obtenidos respecto al diámetro, frecuencia de poros y longitud de vasos, la *Calycophyllum spruceanum* presentó un índice de vulnerabilidad (IV) de 2,43 clasificándolo como vulnerable al stress hídrico y un índice mesomórfico (IM) de 1361, correspondiéndole un xilema mesomórfico. De acuerdo a los índices de Carlquist en 1977, estas maderas son mesomórficas, pueden presentar cavitación, vulnerables a la embolia, pero eficientes en el transporte de agua, propias de ecosistemas tropicales húmedos (MONTANO-ARIAS et al, 2013), como lo es la especie en estudio.

El patrón de aumento del diámetro tangencial de poro y disminución de la frecuencia de poros de médula a corteza encontrado en el presente trabajo es similar al descrito por Malan (1995) en árboles de *Eucalyptus grandis* y Tomazello Filho (1985) en árboles de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus saligna* quienes encontraron que el diámetro tangencial del vaso aumenta y la frecuencia disminuye en sentido médula-corteza. Kroll et al. (1992), Giménez; López (2000), encontraron en las especies *Schinopsis* y *Populus sp.* que la frecuencia de poros disminuye desde la médula a corteza; sin embargo, el diámetro y el área neta de poros se incrementa con la edad. Ismail et al., (1995) en *Neolamarckia cadamo* y *Antrocoalus chinensis*; Peszlen, (1994) en *Populus*; Helinska et al. (1991) en *Quercus* también encontraron que el espesor de las fibras aumenta en el sentido radial con la edad del árbol, y que el número de vasos disminuye hacia la corteza y el diámetro de los mismos aumenta.

Al respecto, en los muchos trabajos realizados sobre variabilidad longitudinal y radial de las fibras y elementos vasculares se han encontrado diferentes patrones de

variación, siendo el más frecuente un aumento en la longitud de fibra y elementos de vaso de médula a corteza. Asimismo, en sentido longitudinal, se ha encontrado en general, una disminución de la longitud de fibras y elementos de vaso desde la base al ápice del árbol; como lo obtenido en la presente investigación respecto a la variación radial y longitudinal, y que se atribuye mayormente a la proporción de madera juvenil y madura que tenga una determinada especie.

Conclusiones

La *Calycophyllum spruceanum* de 20 años de edad, presentó características anatómicas semejantes a otras investigaciones realizadas para la especie proveniente de bosques naturales y plantaciones forestales.

No se encontró interacción entre la fibra y elementos vasculares en dirección longitudinal y radial

La longitud de fibra y elementos vasculares, disminuyen significativamente de la base hacia el ápice; sin embargo, la frecuencia de poros aumenta significativamente de la base al ápice del árbol. No se encontró diferencia significativa en el espesor de pared ni diámetro tangencial de poro en sentido longitudinal

La longitud de fibra, espesor de pared de la fibra, diámetro tangencial de poro y longitud de vaso, se incrementa significativamente en dirección a la corteza, sin embargo, en la frecuencia de poros se observa una disminución significativa hacia el centro de la corteza, permaneciendo constante hacia la corteza.

Referencias

ACEVEDO M, M; KIKATA, Y. **Atlas de Maderas del Perú**. UNALM. Lima, Perú. Universidad de Nagoya. Japón. 202 p. 1994.

ARÓSTEGUI, A. Estudio tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa), características tecnológicas y usos de la

madera de 145 especies del país. **Ministerio de Agricultura**. UNALM-La Molina. Lima-Perú. Vol. I. 483 p. 1974

BALDIN, T; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia da madeira de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) K. Schum. e *Calycophyllum spruceanum* F. *Brasiliensis* K. Schum. **BALDUINIA**, Santa María, n. 50, p. 16-23, 2015.

BALDIN, T; SIEGLOCH, A. M.; MARCHIORI, C. J. N.; DANARDI, L. Análise comparativa da anatomia da madeira de 41 espécies de Rubiaceae sob enfoque taxonômico. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**. v. 51, n 4, p. 623-634, 2016.

BHAT, K. M.; BHAT, K. V; DHAMODARAN, T. Fibre length variation in stem and branches of eleven tropical hardwoods. **IAWA Bull. n.s.** v.10, n. 1, p. 63-70, 1989.

BISSET, I. J. W.; DADSWELL, H. E. The variation in cell length within one growth ring of certain angiosperms and gymnosperms. **Australian Forestry**. v.14, n 1, p. 17-29, 1950.

BURDON, R. D.; KIBBLEWHITE, R. P.; J. C. F.; Walker, J.C.F.; Megraw, R.A; Evans, R.; Cown, D.J. Juvenile wood versus mature wood: a new concept, orthogonal to corewood versus outerwood, with special reference to *Pinus radiata* and *P. taeda*. **Forest Science**, v.50, n.04, p.399-415, 2004.

CARLQUIST, S. **Comparative wood anatomy**. Berlin: Springer-Verlag, 448 p. 2001.

COMIÇÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS, **COPANT 30:1-012**. Maderas: Métodos para realizar el análisis estadístico de las propiedades de las maderas. São Paulo, 1972.

DE ANDRADE, J. K. B.; ARANTES, M. D. C.; OLIVERA, J. T. S.; PAES, J.; DA SILVA, S. B.; ROCHA, S. M. G.; DA SILVA, L. F.; LÓPEZ, Y. M. Descrição anatômica da madeira de Pau-mulato (*Calycophyllum pruceanum* (benth.) k. schum.). In: III Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira. **Anais...** Florianópolis: CBCTEM, 2017. 8p,

EZQUERRA, F. M.; GIL, L. A. Wood anatomy and stress distribution in the stem of *Pinus pinaster* Ait. **Invest.Agr.: Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales**. V. 10, n. 1, p. 165-177, 2001.

GIMÉNEZ, A.; LÓPEZ, C. Caracteres anatómicos que determinan la variabilidad del leño de *Schinopsis quebracho colorado*, Anacardiaceae. **Revista de Investigaciones**

- Agrarias (INIA)** Sistemas y Recursos Forestales. España. v. 9, n. 2, p. 219-235, 2000
- GIMÉNEZ, A.; LÓPEZ, C. Variación longitudinal de los elementos del leño de *Schipnosis quebracho colorado* (Schlecht.) Barkl. et Meyer Anacardiaceae. **Madera y Bosques**. v. 8, n. 2, p. 27-38, 2002.
- HELINSKA, R.; RACZKOWSKA, E.; FABISIAK, G. Radial variation and growth rate in the length of the axial elements of sessile oak wood. **IAWA Bull.** v. 12, n. 3, p. 257-262, 1991.
- IAWA COMMITTEE. 1989. "IAWA List of Microscopic features for hardwood identification". **IAWA Bulletin**. v. 10, n. 3, p. 219-233, 1989.
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). **Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: II. Gimnosperame**. Brasil. 5 p. 1991.
- IGARTÚA, D.; MONTEOLIVA, S. Densidad básica, longitud de fibras y crecimiento en dos procedencias de *Eucalyptus globulus* en Argentina. **Bosque**. v. 31, n. 2, p. 150-156, 2010.
- ISMAIL, J.; JUSOH, M. H.; SAHARI, M. H. Anatomical variation in plante d Kelampaya n *Neolamarckia cadamo*, (Rubiaceae). **IAWA Journal**. v. 16, n. 3, p. 277-288, 1995.
- KROLL, R.; RITHER, D.; GERTJEJANSEN, R. Anatomical and physical properties of Balsam poplar (*Populus balsamifera*) in Minesota. **Wood Fiber Science**. v. 4, p.13-24, 1992.
- LEÓN. H. W. Variabilidad de la madera de *Swietenia macrophylla King* proveniente de plantaciones de 10 años de edad (Caparo, estado Barinas, Venezuela). **Revista Forestal Venezolana**, v. 54, n. 2, p. 169-182, 2010.
- LEON, H. W. J.; DE PERNIA, E. N. Variabilidad de la madera de *Cordia thaisiana* (BORAGINACEAE) en sentido transversal. **Revista Forestal Venezolana**. v. 42, n. 1, p. 15-23, 1998.
- LEÓN, H. W. Anatomía de la madera de 31 especies de Rubiaceae en Venezuela. **Acta Botánica Venezuelica**. v. 34, p. 347-379, 2011.
- LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; LONGUI, E. L. Dimensões anatómicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. em função do espaçamento e da posição radial do tronco. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 61-68, mar. 2011
- MALAM, F. S. Eucalyptus improvement for lumber production. In: Seminário Internacional de Utilização da madeira de Eucalipto para serraria. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 1-19.
- MEDINA, A. A.; DIONISIO, N. M.; LAFFITTE, L. N.; ANDIA, I. R.; RIVERA, S. M. Variación radial y axial de longitud de fibras y elementos de vaso en *Nothofagus nervosa* (Nothofagaceae) de la Patagonia Argentina. **Madera y Bosques**, v. 19, n. 2, p. 7-19, 2013.
- MIRANDA, M. C; RIGATTO CASTELO, P. A. avaliações anatómicas das fibras da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, v. 3, n. 2, p. 81-88, 2012.
- MONTAÑO, A. S. A.; CAMARGO R. S. L.; PÉREZ O. C. P. Ecoanatomía de los elementos de vaso de la madera de cinco especies del género mimosa (*leguminosae-mimosoideae*). **Botanil Sciencis**. v.91, n. 1, p. 1-10, 2013.
- MUNSELL COLOR CHARTS FOR PLANT TISSUES. **Munsell color**. Kollmorgen Corporation Baltimore, Maryland. 17 p. 1977.
- ORREGO M, D. R.; BUSTAMANTE G, N. R. Trabajabilidad de la madera de capirona (*Calycophyllum spruceanum*) procedente de plantaciones de la cuenca del río Aguaytia en la región de Ucayali – Perú. **Revista Forestal del Perú**, v. 32, n. 2, p. 97- 106, 2017.
- PASHIN, A.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. McGraw Hill. 4th Ed. New York. USA. 722 p. 1980.
- PESZLEN, I. Influence on age on select anatomical properties of populus clones. **IAWA Journal**. n. 15, p. 311-321, 1994.
- ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatómicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2004.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatómica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 29, p. 37-45, 1985.
- TORO, M. L **Variabilidad radial de la longitud de las fibras de la madera de Carapa guianensis Aublet**. Trabajo para

ascender a la Categoría de Agregado. Universidad nacional experimental de Guayana. Venezuela. 2010.

USHIÑAHUA R, D. **Comportamiento fenológico preliminar de capirona en la provincia de San Martín.** Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Lima, Perú, 2p. 2016.

VASQUEZ C. A. M.; ALCANTARA V. E. Anatomía y densidad de la madera de árboles de Pino Romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] de ocho años de edad. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, v. 62, n. 1, p. 4869-4880, 2009.

WINCKS, R. A.; FASOLA, H. E.; ÁREA, M. C. Efecto del raleo sobre las propiedades anatómicas de la madera de *Pinus taeda*. **Maderas. Ciencia y Tecnología**. v. 17, n. 2, p. 391-406, 2015.